



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Industrial

Comparativa entre métodos de enrutamiento: algoritmo genético modificado, Waze y Google Maps

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

Autor:

Danny Ricardo Valladarez Muñoz

CI: 171952935-4

Directora:

Ing. Diana Carolina Jadán Avilés

CI: 010423697-1

CUENCA – ECUADOR

01/04/2019



Resumen: Actualmente las organizaciones tienen que lidiar con la problemática de generar rutas óptimas, tanto de distribución y entrega, ya sea de materias primas o productos terminados, no solo para ahorrar recursos destinados a estas actividades, sino para generar un mayor valor que percibe el cliente a través del tiempo de entrega y lograr de esa forma una mayor ventaja competitiva, la problemática que se genera es saber cuál de los distintos métodos que existen es el óptimo. En el presente ensayo se describe los diferentes métodos de enrutamiento que existen, tomando como punto de comparación tres de ellos: Algoritmo Genético Modificado de Chu-Bealsey, Google Maps y Waze. Los cuales se aplicaron en un entorno real, permitiendo la recolección de datos y llegar a la conclusión de cuál de ellos es el mejor.

Palabras claves: Métodos de enrutamiento. Algoritmo Genético de Chu-Bealsey. Google Maps. Waze. Comparación.



Abstract: Currently organizations have to deal with the problem of generating optimal routes, both distribution and delivery, either raw materials or finished products, not only to save resources for these activities, but to generate a greater value perceived by the customer. Through the delivery time and thus achieve a greater competitive advantage, the problem that is generated is knowing which of the different methods that exist is the optimum. In this essay we describe the different routing methods that exist, taking as a point of comparison three of them: Modified Genetic Algorithm of Chu-Bealsey, Google Maps and Waze. Which were applied in a real environment, allowing data collection and reaching the conclusion of which is the best.

Keywords: Routing methods. Genetic Algorithm of Chu-Bealsey. Google Maps. Waze. Comparison.



Índice del Trabajo

1 Introducción	7
2 Materiales y métodos	9
Recopilación de datos	9
Análisis de datos	12
3 Conclusiones	14
4 Agradecimiento	15
5. Bibliografía	15
6. Lista de Ilustraciones	16
7. Lista de Tablas	16



Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo Danny Ricardo Valladarez Muñoz, autor/a del trabajo de titulación “Comparativa entre métodos de enrutamiento: algoritmo genético modificado, Waze Y Google Maps”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 01 de abril de 2019

Danny Ricardo Valladarez Muñoz

C.I: 171952935-4



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio
Institucional

Yo Danny Ricardo Valladarez Muñoz en calidad de autor/a y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Comparativa entre métodos de enrutamiento: algoritmo genético modificado, Waze Y Google Maps", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 01 de abril de 2019

Danny Ricardo Valladarez Muñoz

C.I: 171952935-4

1 Introducción

En la actualidad las organizaciones se enfrentan con la problemática de establecer rutas óptimas que minimicen los costos de transporte, ya sea para la entrega de productos terminados, transporte de personal o reposición de materias primas, dichos costos logran alcanzar porcentajes significativos dentro del precio final de un producto, siendo de un 18 a 35% en organizaciones consolidadas y un 45% para las PYMES (Guasch, 2011, p. 5).

Por ello existe la necesidad de buscar herramientas que ayuden a disminuir dichos costos y hoy en día existen una gran variedad de investigaciones que buscan dar soluciones óptimas en donde se destacan los métodos meta-heurísticos, que son considerados como los métodos más empleados y eficientes, porque se basan en un principio simple y de sentido común.

Dentro del campo de los métodos meta-heurísticos se puede distinguir al mismo tiempo varias herramientas como son la búsqueda de secuencias por entorno propuesto por Hansen y Mladenovic, Colonias de Hormigas presentado por V. Colorni y los algoritmos genéticos elaborados principalmente por Jhon Holland.

Estos algoritmos genéticos o también conocidos como algoritmos evolutivos llaman la atención, debido a que su funcionamiento principal está basado en la selección natural o principio darwiniano en donde se establece que los miembros más aptos sobreviven y tienen la posibilidad de reproducirse, es así como

aparecieron otros algoritmos para solucionar la misma problemática como son:

- Algoritmos genéticos: Propuestos por Goldberg, modelan el proceso de evolución como una secuencia de diversos cambios en los genes, en donde se produce un cruce, inversión y mutación (Andaluz, 2004, p. 4,5).
- Programación genética: Desarrollado por Koza en donde los individuos son programas autónomos generalmente representados como árboles, empleando un mecanismo de cruce denominado crossover además de diversos mecanismos de selección (Andaluz, 2004, p. 4,5).
- Programación Evolutiva: Técnica introducida por Fogel, cuyo objetivo principal era la creación de inteligencia artificial (Andaluz, 2004, p. 4,5)
- Estrategias evolutivas: Técnica elaborada por Rechenberg y Schwefel, resuelve problemas de optimización discretos y continuos, el cual trabaja con vectores de números reales con desviaciones estándar que codifican las posibles soluciones de problemas numéricos (Andaluz, 2004, p. 4,5).

Entre todos estos métodos los más empleados son los algoritmos genéticos, de los cuales la modificación o variante propuesta por Chu Bealsey en 1997 (Chu P.C, 1997), es considerada el más recomendado según Andaluz, (2004), que afirma que “Los algoritmos genéticos constituyen una técnica poderosa de búsqueda y optimización, inspirado en el



principio darwiniano de selección natural y reproducción genética”.

Este algoritmo genético modificado al ser tan recomendado por diversos estudios y autores, facilita la tarea de encontrar evidencia que demuestre su eficiencia y poder, a la hora de resolver problemas de enrutamiento, independientemente de su campo de aplicación, como es el caso de la resolución del problema de secuenciación de tareas en un sistema de producción lineal flow-shop en la cual buscaban resolver el problema con la finalidad de minimizar el tiempo total de producción (Toro Ocampo, Eliana Mirledy, Restrepo Grisales Yov Steven, 2006).

Una de las aplicaciones del algoritmo genético es en el modelado de instalaciones eléctricas logrando minimizar las perdidas eléctricas de dichas instalaciones, la cual da como resultado una red óptima con mínimas perdidas y nulas sobrecargas (Mauricio & Posso, 2011).

Otro caso de aplicación, se ha encontrado en la identificación de errores en la estimación de estados en sistemas eléctricos, en la que se emplea el algoritmo genético modificado y se lograron mejores resultados de estimación comparados con otros métodos clásicos, dichos casos demuestran que la aplicación del algoritmo generara soluciones de mayor calidad (Ruiz F, Toro O, & Isaza, 2007).

Revisando la literatura se pudo determinar que existen investigaciones que comparan el desempeño del algoritmo genético modificado y el algoritmo colonia de hormigas en el problema de p-mediana en el cual se demuestra un mayor desempeño del algoritmo genético modificado

de Chu-Beasley frente al algoritmo colonia de hormigas (Muñoz B, Gallego, & Toro O, 2011).

Por otro lado, se conoce que para resolver de forma práctica el problema del enrutamiento, incluso cotidianamente, se usan varios programas comerciales, entre los más famosos podemos encontrar a Waze y Google Maps.

Waze es una aplicación de enrutamiento en tiempo real que garantiza el ahorro en tiempo y dinero, está diseñada para conductores y peatones que se conectan entre si generando una importante retroalimentación ya que cada usuario puede aportar con datos del camino, como estado de vías, niveles de tráfico, controles policiales, accidentes, entre otros. Dicha aplicación emplea promedios estadísticos para programar las rutas, pero puede presentar problemas que son ocasionados generalmente por errores en los mapas o por falta de datos correctos (Google Support, 2018).

Por otra parte, Google Maps, es una aplicación capaz de considerar el tráfico en tiempo real, la cual ofrece la mejor ruta para llegar al destino deseado, además de poseer la capacidad de recalcular la ruta según los patrones de tráfico previstos (Google Maps, 2018).

Es importante mencionar la diferencia que existe entre el algoritmo genético modificado y los programas comerciales, dichos programas comerciales poseen una particularidad y es su horizonte de tiempo a la hora de planificar rutas, es decir, su planificación de ruta sirve para un periodo relativamente pequeño, posterior a este, sus rutas estarán sujetas a variaciones llegando a elaborar rutas totalmente diferentes



a la inicial, también posee una gran ventaja que es su versatilidad y sencillez de uso.

Por el contrario, el algoritmo genético modificado ya toma en consideración las posibles variaciones de ruta que estarán en función de la hora de inicio, por consiguiente, elaborará una ruta que no variará con el tiempo, dicha particularidad del algoritmo genético modificado le da cierta ventaja frente a los programas comerciales, por lo que permite establecer una adecuada programación de rutas sin importar el horizonte de tiempo al que se va a programar, pero también presenta una desventaja y es su complicada aplicación.

Es en este punto donde los responsables de logística de cualquier organización se preguntan, ¿Cuál de estos métodos daría mejor resultado? ¿Realmente existe diferencia entre uno u otro?

El presente ensayo es un estudio comparativo explicativo, debido a que se observa el comportamiento de un determinado caso, dando como resultado un análisis cuantitativo para dar respuesta a la hipótesis anteriormente mencionada, para la muestra se va a sesgar a un caso determinado con base a su importancia y calidad, es decir el ensayo se delimitará al estudio de optimización y comparación de una ruta de entrega de productos de una determinada empresa de bienes ubicada en la ciudad de Cuenca.

2 Materiales y métodos

Recopilación de datos

El presente ensayo fue realizado en la empresa TRANSNEXOS perteneciente al GRUPO INDUSTRIAL GRAIMAN, ubicada en la ciudad de Cuenca, Ecuador, cuyo propósito es analizar y comparar los resultados obtenidos por el Algoritmo Genético Modificado con las aplicaciones Waze y Google Maps.

Para efectos del estudio se consideró la ruta más frecuente en la ciudad de Cuenca, realizando una recolección de 60 datos por cada método a ser analizado.

Para la recolección de los datos se procedió a registrar sus coordenadas en el trayecto de inicio a fin de todas las rutas propuestas por los diferentes métodos, para este registro se utilizó la aplicación móvil GPSLOGGER de acceso gratuito.

Para el caso del Algoritmo Genético Modificado, se procedió a programar dicho algoritmo en dos partes, la primera parte se centra en la creación de la población inicial en Matlab y la segunda parte se programó en el lenguaje Java, usando IDE NetBeans 8,2 (Entorno de programación), por su parte los métodos comerciales Waze y Google Maps son aplicaciones móviles de fácil uso e implementación para la emisión de rutas.

Todas las rutas propuestas por los métodos tienen el mismo origen, bodega central de Graiman ubicada en las

coordenadas -2.881414, -78.973192, hasta Centro Graiman Totoracocha ubicada en las coordenadas -2.891684, -78.985348.

En la Ilustración 1, se pueden observar las rutas propuestas por los distintos métodos, las cuales se puede diferenciar las rutas obtenidas por los siguientes colores, el color negro representa la ruta propuesta por la aplicación móvil Google

Maps, el color azul representa la ruta propuesta por la aplicación móvil Waze, mientras que el color morado representa la ruta propuesta por el Algoritmo Genético Modificado.

En la ejecución de los distintos métodos se pudo obtener los siguientes resultados:

Ilustración 1. Propuesta de rutas de estudio



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 1. Tiempo de recorrido Waze

Método de enrutamiento WAZE			Distancia (km): 5,98			
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
1	00:14:32	00:14:41	00:14:36	00:14:43	00:14:37	00:14:35
2	00:13:19	00:13:16	00:13:26	00:13:22	00:13:14	00:13:24
3	00:15:43	00:15:47	00:15:39	00:15:38	00:15:42	00:15:45
4	00:15:33	00:15:35	00:15:32	00:15:34	00:15:31	00:15:37
5	00:14:57	00:14:47	00:14:42	00:14:49	00:14:56	00:14:49
6	00:14:01	00:14:29	00:14:32	00:14:41	00:14:23	00:14:37
7	00:13:09	00:14:11	00:14:18	00:14:16	00:14:22	00:14:15
8	00:11:29	00:12:04	00:12:27	00:12:34	00:12:11	00:12:29
9	00:12:06	00:16:52	00:17:08	00:17:16	00:16:41	00:16:57
10	00:12:51	00:14:05	00:14:03	00:14:12	00:14:09	00:14:14

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2. Tiempo de recorrido Google Maps

Método de enrutamiento Google Maps			Distancia (km)			5,81
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
1	00:24:47	00:24:41	00:24:38	00:24:50	00:24:54	00:24:46
2	00:24:22	00:24:21	00:24:17	00:24:23	00:24:18	00:24:15
3	00:24:32	00:24:37	00:24:46	00:24:35	00:24:45	00:24:38
4	00:24:30	00:24:45	00:24:31	00:24:30	00:24:34	00:24:44
5	00:24:05	00:24:17	00:24:09	00:24:12	00:24:21	00:24:18
6	00:23:58	00:24:10	00:24:05	00:24:10	00:24:09	00:24:19
7	00:23:30	00:23:41	00:24:01	00:23:56	00:23:39	00:23:40
8	00:24:05	00:24:12	00:24:15	00:24:13	00:24:18	00:24:25
9	00:24:42	00:24:45	00:24:49	00:24:54	00:24:56	00:24:46
10	00:23:56	00:24:21	00:23:59	00:24:07	00:24:14	00:24:02

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3. Tiempo de recorrido Algoritmo Modificado

Método de enrutamiento AGMCB			Distancia (km)			5,81
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
1	00:15:13	00:15:12	00:15:16	00:15:15	00:15:17	00:15:21
2	00:14:06	00:14:08	00:14:13	00:14:15	00:14:10	00:14:03
3	00:15:27	00:15:21	00:15:19	00:15:20	00:15:21	00:15:16
4	00:15:10	00:15:15	00:15:16	00:15:12	00:15:20	00:15:14
5	00:13:53	00:13:58	00:14:04	00:14:08	00:14:01	00:14:05
6	00:13:05	00:13:10	00:13:08	00:13:05	00:13:13	00:13:09
7	00:12:17	00:12:16	00:12:12	00:12:23	00:12:25	00:12:26
8	00:10:08	00:10:26	00:10:16	00:10:11	00:10:23	00:10:13
9	00:15:21	00:15:19	00:15:18	00:15:22	00:15:23	00:15:20
10	00:13:39	00:14:03	00:13:41	00:13:30	00:14:43	00:13:21

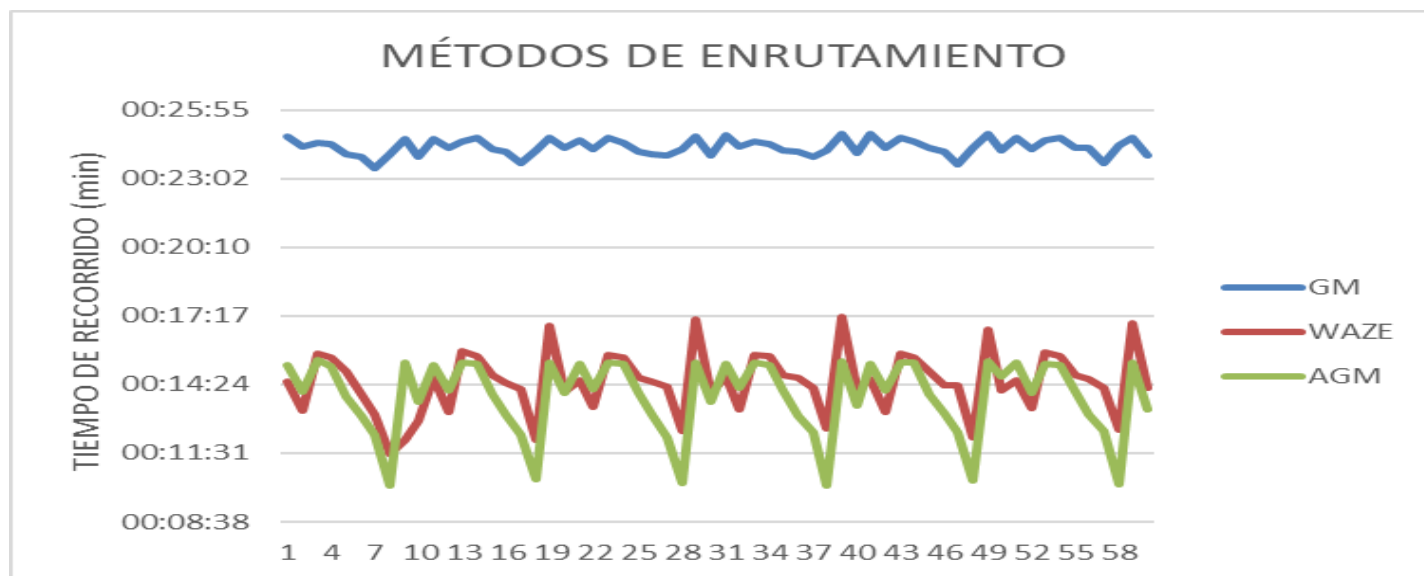
Fuente: Elaboración Propia

Análisis de datos

Al analizar el conjunto de datos en la Ilustración 2, se puede observar que existe una gran diferencia entre los tiempos de ejecución de la ruta Google Maps con la de Waze y el Algoritmo Genético Modificado, siendo estos dos últimos

muy parecidos entre sí, al realizar un análisis más profundo, se puede observar en la Ilustración 3 que el Algoritmo Genético Modificado presenta mejores resultados que su competidor Waze, tanto en tiempo promedio de ejecución de ruta como en distancia total recorrida

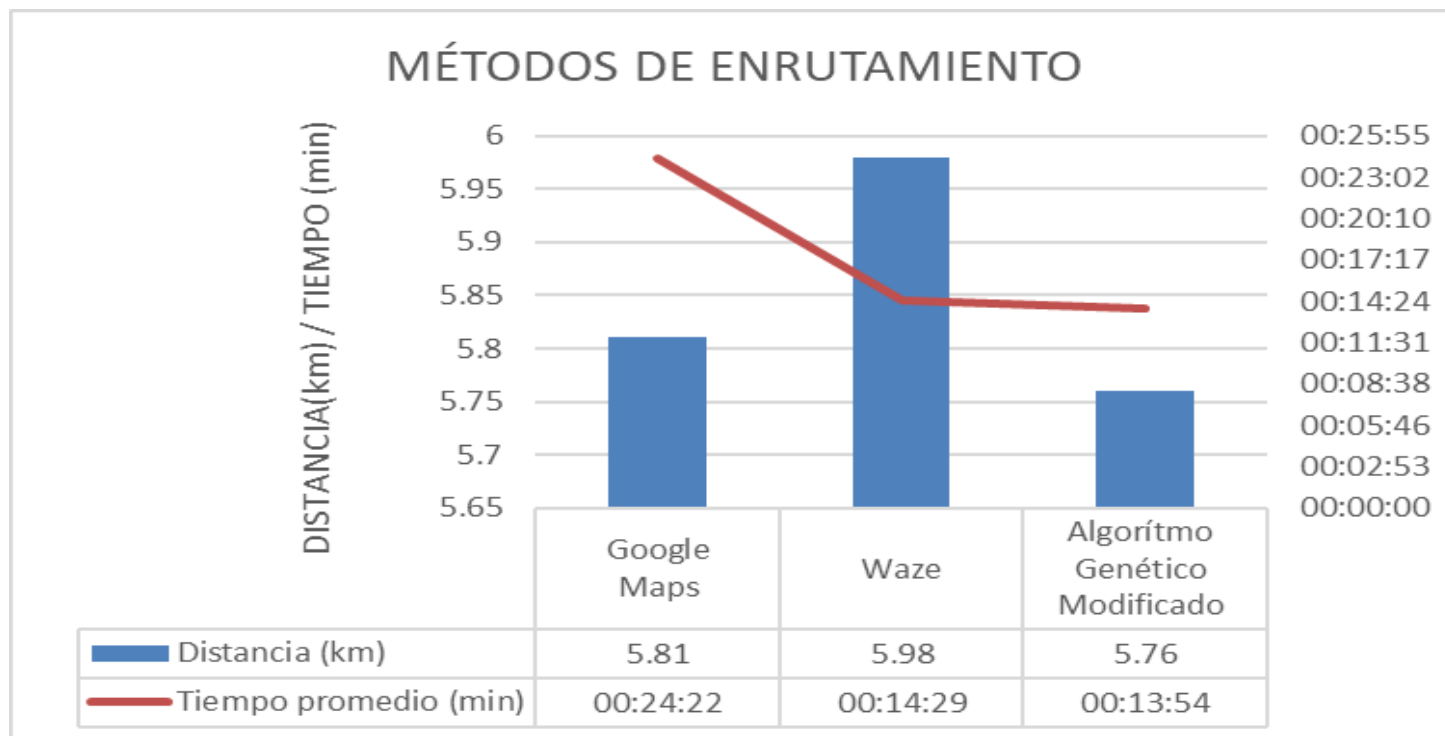
Ilustración 2. Gráfica de datos por método de enrutamiento



Fuente: Elaboración Propia

En la Ilustración 3, se puede apreciar un resumen comparativo de los resultados obtenidos en el ensayo.

Ilustración 3. Distancia Recorrida vs Tiempo promedio de recorrido



Fuente: Elaboración Propia

Para iniciar el análisis se establece como hipótesis que la aplicación del método del algoritmo genético modificado de Chu-Beasley da mejores resultados que las rutas propuestas por los métodos de Waze Y Google Maps, y con ello establecer cuál de los métodos da mejores resultados para determinar si existen diferencias significativas entre los métodos anteriormente planteados, como hipótesis nula se establece que no existe diferencias entre los distintos métodos de estudio.

Para dar respuesta a las hipótesis anteriormente mencionadas, se realizará

un análisis de varianza (ANOVA) a los datos anteriormente mostrados.

En la Tabla 4 se muestra un descriptivo del modelo ANOVA, en donde se visualiza número de observaciones, medias, errores, límites superiores e inferiores, al realizar un análisis previo se puede indicar que el método más eficiente es el Algoritmo genético modificado de Chu-Beasley, seguido por el método Waze, y el peor establecido por el método de Google Maps.

Tabla 4. Descriptivos ANOVA

Descriptivos								
Tiempo de ejecución								
	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
WAZE	60	0:14:29	0:01:17	0:00:10	0:14:09	0:14:49	0:11:29	0:17:16
GOOGLE MAPS	60	0:24:21	0:00:20	0:00:02	0:24:16	0:24:26	0:23:30	0:24:56
AGMCB	60	0:13:53	0:01:34	0:00:12	0:13:29	0:14:17	0:10:08	0:15:27
Total	180	0:17:34	0:04:57	0:00:22	0:16:51	0:18:18	0:10:08	0:24:56

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 5 se observan los resultados del análisis ANOVA, en la cual se obtiene un valor de significancia menor al 0,05, como consecuencia la hipótesis nula se rechaza y se

estable que si existen diferencias entre los distintos métodos de estudio y que de todos los métodos el Algoritmo genético modificado da mejores resultados que sus competidores.

Tabla 5. Análisis ANOVA

ANOVA					
Tiempo de ejecución					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	14929770.100	2	7464885.050	1453.615	.000
Dentro de grupos	908964.700	177	5135.394		
Total	15838734.800	179			

Fuente: Elaboración Propia

3 Conclusiones

En los resultados obtenidos a simple vista se puede establecer que la ruta propuesta por el Algoritmo Genético Modificado de Chu-Bealsey es la más óptima en relación a los demás métodos analizados en esta investigación, la que más se le aproxima es la ruta propuesta por

el método Waze y en tercer lugar muy por debajo de los resultados obtenidos por los métodos anteriormente mencionados tenemos a la ruta propuesta por el método de Google Maps, como se puede observar en la Ilustración 3.

A pesar de que la distancia total de recorrido del método de Google Maps es similar a la del



método del Algoritmo Genético Modificado de Chu-Bealsey su tiempo de ejecución supera en un 171,43%.

Los resultados obtenidos fueron que la distancia total de recorrido del método Waze supera a la del Algoritmo en un 103,82%, pero el tiempo de ejecución es similar entre los dos métodos.

La causa para que se dé lugar a estos resultados está directamente relacionada con la retroalimentación de información del estado y las condiciones de las rutas. Google Maps propone su ruta optima y a pesar de asegurar que toma en cuenta las condiciones de tránsito no son datos suficientes para asegurar que la ruta propuesta es la óptima, mientras que los demás métodos se deben retroalimentar constantemente de la información.

En el caso de Waze cuenta con una amplia retroalimentación proveniente de su comunidad online que usa la aplicación informando de todo tipo de anomalía en las rutas transitadas, mientras que en el caso del Algoritmo Genético Modificado de Chu-Bealsey en cierta medida es similar a Waze debido a que para programarlo es necesario recolectar información minuciosa sobre el estado y condiciones de las posibles rutas, para posteriormente ejecutarlo

Por lo antes expuesto se establece que el mejor método de enrutamiento es el que proporciona el Algoritmo Genético Modificado de Chu-Bealsey seguido de la aplicación móvil Waze, como se puede observar los resultados reflejados en la Ilustración 3.

4 Agradecimiento

A mis padres Jorge y Nancy, a mi hermano David por apoyarme y animarme en cada momento de mi vida.

A Kerly por ser mi apoyo constante, por darme el impulso necesario para ser mejor día a día y por darme todo su amor incondicional.

A la Ing. Diana Jadán tutora del presente trabajo de titulación por su ayuda y compromiso durante la elaboración del presente ensayo.

5. Bibliografía

- Andaluz, A. M. (2004). Algoritmos Evolutivos y Algoritmos Genéticos. *Universidad Carlos III de Madrid*, 1–14. Retrieved from <http://www.it.uc3m.es/~jvillena/irc/practicas/estudios/aeag>
- Chu P.C, B. J. . (1997). A genetic algorithm for the generalised assignment problem. *Journal of the Operational Research Society*, 48(8), 804–809. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2600431>
- Google Maps. (2018). Ayuda de Google Maps. Retrieved from <https://support.google.com/maps/answer/144349?hl=es-419>
- Google Support. (2018). ¿Cómo funciona Waze? Retrieved from <https://support.google.com/waze/answer/6078702?hl=es>
- Guasch, J. (2011). La logística como motor de la competitividad en América Latina y el Caribe. *Banco Interamericano de Desarrollo*, 38. Retrieved from <http://www.iadb.org/wmsfiles/products/publications/documents/36610117.pdf>



Mauricio, J., & Posso, L. (2011). Un Modelo Trifásico Secondary Distribution System Planning Using Three-Phase Model, 21, 41–56.

Muñoz B, C. A., Gallego, R. A., & Toro O, E. M. (2011). COMPARACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL ALGORITMO GENÉTICO DE CHU-BEASLEY Y EL ALGORITMO COLONIA DE HORMIGAS EN EL PROBLEMA DE P-MEDIANA.

Ruiz F, H. A., Toro O, E. M., & Isaza, H. S. (2007). ALGORITMO GENÉTICO MODIFICADO CHU-BEASLEY APLICADO A LA IDENTIFICACIÓN DE ERRORES EN LA ESTIMACIÓN DE ESTADO EN SISTEMAS ELÉCTRICOS, 35(35), 25–30.

Toro Ocampo, Eliana Mirledy, Restrepo Grisales Yov Steven, G. E. M. (2006). Algoritmo Genético Modificado aplicado al problema de secuenciamiento de tareas en sistemas de producción lineal - Flow Shop. *Scientia et Technica Año XII*, (30), 159–164. <https://doi.org/0122-1701>

6. Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Propuesta de rutas de estudio	10
Ilustración 2. Gráfica de datos por método de enrutamiento	12
Ilustración 3. Distancia Recorrida vs Tiempo promedio de recorrido	13

7. Lista de Tablas

Tabla 1. Tiempo de recorrido Waze	11
Tabla 2. Tiempo de recorrido Google Maps	11
Tabla 3. Tiempo de recorrido Algoritmo Modificado	12
Tabla 4. Descriptivos ANOVA	14
Tabla 5. Análisis ANOVA	14